

HORUS:

Inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola

David Estevez^{a,1*}, Juan G. Victores^a, Carlos Balaguer^a

^a Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, Av. de la Universidad, 30, 28911, Leganés, España.

Resumen

Las enfermedades altamente contagiosas son tratadas mediante procedimientos muy estrictos de la OMS. En el caso del Ébola, que tiene una tasa de letalidad que puede llegar al 90%, tanto enfermos como el personal sanitario deben seguir un protocolo mucho más estricto, el cual está bien definido aunque hay áreas de mejora importante con relación a la seguridad. Una de las tareas más delicadas es la retirada del traje protector EPI de los sanitarios en la antesala (esclusa) de la habitación del enfermo después de visitarlo. Puede ocurrir que el traje esté roto y/o contaminado con restos de sangre, vómitos, orina y, en general, con fluidos diversos. Precisamente por ello el objetivo de este proyecto es desarrollar tecnologías robóticas para asegurar la integridad del traje de protección del personal sanitario que trata el Ébola en tres ámbitos: 1) sensorización de la esclusa con cámaras de visión para la inspección automática de los trajes, 2) inspección robotizada más detallada del traje con sensores de detección de fluidos, y 3) creación de una base de datos dinámica de defectos y tipos de fluidos que aparecen en los trajes. Todo ello bajo dos premisas: bajo coste para múltiples hospitales y carácter modular para poder ser transportado a ubicaciones de campo. Copyright © 2017 CEA.

Palabras Clave:

Robots, Robotics, Robot vision, Computer vision, Medical Systems

Datos del Proyecto:

Denominación del proyecto: Inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola.

Referencia: DPI2015-72015-EXP.

Investigador/es responsable/es: Carlos Balaguer Bernaldo de Quirós.

Tipo de proyecto (internacional, nacional, autonómico, transferencia): Nacional (Proyecto Explora).

Entidad/es financiadora/s: Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

Fecha de inicio/fin: Por determinar (Duración 3 años).

1. Introducción

Las enfermedades altamente contagiosas son tratadas mediante procedimientos muy estrictos siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En el caso de la Fiebre Hemorrágica de Ébola (EVE), con una tasa de letalidad del orden del 90%, según la OMS, el personal sanitario que trata a estos enfermos debe seguir un estricto protocolo de trabajo^{2,3}. Estas medidas deben garantizar la adecuada protección del trabajador. Hay que tener presente que la protección va más allá del trabajador y su entorno e

incluye al resto de las personas susceptibles de contacto directo o indirecto con el paciente y/o el trabajador.

El traje del personal sanitario (EPI - Equipo de Protección Individual) que trata a este tipo de pacientes está formado por a) un mono (buzo) que cubre todo el cuerpo excepto cara, manos y pies; b) mascarilla FFP3; c) gafas estancas; d) yelmo o capuchón; e) tres pares de guantes (el primer par de guantes se desecha en la habitación del enfermo); f) dos pares de calzas impermeables (el primer par de calzas se desecha en la habitación); g) pantalla facial y mandil corporal; y h) zonas de superposición de capas (como son guante-mono en antebrazo y

^{1*} Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: destevez@ing.uc3m.es (David Estevez), jcgvicto@ing.uc3m.es (Juan G. Victores), balaguer@ing.uc3m.es (Carlos Balaguer)

URL: <http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/>

² "Ebola Situation Report 8-April 2015" (online), World Health Organization, <http://apps.who.int/ebola/current-situation/ebola-situation-report-8-april-2015> (retrieved on 21-sept-2015)

³ "Data and statistics" (online) World Health Organization (Office for Europe), <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/antimicrobial-resistance/data-and-statistics> (retrieved on 21-sept-2015)

calza-mono en piernas) que se sellan con cinta adhesiva aislante ancha⁴.

El momento de mayor riesgo de contagio es cuando se retira el traje, siendo este protocolo refrendado por el Ministerio de Sanidad español³. Los protocolos de retirada del EPI recomiendan: “Siempre actuaremos despacio, con calma, siendo conscientes de nuestro cuerpo y maniobrando con movimientos lentos pero precisos. Aun sintiendo que estemos acostumbrados a esta actividad, jamás dejaremos de escuchar y atender las indicaciones del recurso preventivo (instructor-observador), que indicará al profesional la secuencia de retirada del EPI”. Los pasos durante la retirada del traje en la antesala (esclusa) son: 1) retirar los cubrebotas, 2) retirar el par de guantes externo y eliminarlo, 3) abrir el cierre delantero del traje (mono), 4) quitar la capucha, sacar los brazos y las piernas, enrollar el traje y tirarlo al contenedor, 5) retirar el par de guantes interno y eliminarlo, 6) realizar una primera higiene de manos, 7) poner un nuevo par de guantes, 8) retirar las gafas, 9) retirar la mascarilla y 10) retirar el par de guantes y eliminarlos. La figura 1 resume los pasos a dar durante la retirada del traje (Hospital Universitario La Paz-Carlos III).



Figura 1: Retirada del traje de protección en la antesala (esclusa) del enfermo de Ébola (figuras de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda): a) esclusa, b) inspección visual del traje por el instructor-observador, c) aspecto del traje completo, d) análisis del traje por el propio sanitario, e) retirada de las calzas, f) retirada de los guantes externos y g) extracción del traje (imágenes cedidas por el Hospital Universitario La Paz-Carlos III).

El equipo investigador de este proyecto cuenta con la mayor experiencia europea en el desarrollo y la aplicación de este tipo de protocolos para la retirada de trajes EPI. De hecho, son sanitarios (médicos y enfermeras) que han tratado en el Hospital Universitario La Paz- Carlos III a los 3 únicos pacientes de Ébola en Europa (Mora-Rillo et al., 2015).

Puede ocurrir que el traje esté roto y/o contaminado con restos de sangre, vómitos, orina y, en general, con fluidos diversos. Este hecho puede llevar a una contaminación del trabajador durante la retirada del traje. Por ello, es necesaria su inspección segura antes de proceder a su retirada. Las anomalías

del traje las puede detectar o el mismo trabajador sanitario auto-inspeccionándose o bien el instructor-observador que se encuentra fuera de la esclusa, y puede indicárselo a través de la ventana de comunicación (figura 1 b). No obstante, este método es muy subjetivo, por lo que se hace necesaria la inspección robotizada que garantice que el traje esté intacto, siendo éste el objetivo principal de este proyecto.

2. Objetivos

El objetivo global de este proyecto es desarrollar tecnologías robóticas para asegurar que el traje EPI de protección de los sanitarios de enfermos con Ébola y de otras enfermedades altamente contagiosas no esté ni roto ni contaminado con fluidos. Para ello, se proponen tres sub-objetivos a implementar en la antesala (esclusa) de los enfermos: 1) inspección automática superficial rápida de los trajes mediante cámaras de visión 3D, 2) inspección robotizada detallada con herramientas de detección de fluidos en los trajes, y 3) creación de una base de datos dinámica de defectos y tipos de fluidos detectados. Además, el sistema debe ser de bajo coste (alta replicabilidad) y modular (fácil transporte).

2.1 Inspección automática de trajes en antesalas (esclusas) sensorizadas

La idea básica de este primer objetivo es desarrollar una especie de escáner corporal para los trajes EPI de los sanitarios para la detección de anomalías en los mismos. Fijándonos en los sistemas utilizados en aeropuertos y oficinas (figura 2a), existen básicamente dos tipos de escáneres, el de ondas milimétricas y el de retrodispersión, pero en ambos casos se utilizan rayos X de baja intensidad (Appleby, 2012). Por otro lado, y debido a la necesidad de mayores controles aeroportuarios, se están implementando otras tecnologías como el escáner de cuerpo completo de ondas milimétricas a muy alta frecuencia (U.S. Department of Homeland Security, 2008). Pero todos ellos están pensados para detectar objetos debajo de la ropa, no la superficie de la ropa, y tienen un coste muy elevado. En este proyecto se desarrollará un escáner superficial de bajo coste con un nivel alto de adaptabilidad a los trajes EPI del personal sanitario y las condiciones ambientales.

La problemática de detección de manchas y roturas en ropa 3D es uno de los retos científicos más importantes del proyecto. En primer lugar, habrá que reconstruir el traje del personal sanitario como un modelo 3D local, es decir, con su curvatura, dado que el análisis se efectuará de manera local. Para ello, implementaremos en las esclusas un sistema de visión 3D, probablemente dos cámaras convencionales y una de tipo Kinect. De esta manera podremos analizar la gran mayoría de la superficie del traje. En segundo lugar, identificaremos las arrugas/pliegues del traje para eliminarlas dentro de los

⁴ “Protocolo de actuación frente a casos sospechosos de enfermedad por virus Ébola (EVE)”, Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, 2015, http://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/ebola/documentos/16.06.2015-Protocolo_Ebola.pdf (retrieved on 21-sept-2015).

candidatos de defectos. En este punto, lo más delicado es no confundir la rotura con una arruga/pliegue. Esto podrá implementarse mediante: a) aprendizaje de la forma básica del EPI, b) seguimiento superficial del contorno de las arrugas/pliegues y su apareamiento (matching) con el contorno 3D del traje, y c) extracción de las manchas y roturas utilizando algoritmos de ejecución rápidos centrándose en varias características tipo color, contorno y textura. Son varias las técnicas de procesamiento de imágenes que se utilizan para el análisis de la ropa, aunque en su mayoría se limitan a textiles planos como en tablas de planchar. Los resultados del reciente proyecto europeo del 7PM CloPeMa (Clothes Perception and Manipulation)⁵ pueden ser muy útiles. Para detectar arrugas/pliegues han usado una base de datos con plantillas de ropa desplegada sobre una mesa plana. Estas plantillas son posteriormente utilizadas para buscar una coincidencia entre la forma almacenada y la forma de la prenda. No obstante, el proceso es iterativo con una realimentación de ajuste al mejor modelo (Stria et al., 2014a, b). Otra técnica con buenos resultados esta descrita por Willimon et al. en (Willimon et al., 2011). Este método, que también se centra en los pliegues de la ropa, utiliza varias características obtenidas a partir de una imagen de profundidad, tales como las regiones de pico y las esquinas de ubicación, pero siempre en ropa extendida de forma plana. Un método similar, pero almacenando patrones desde varios puntos de vista, se experimentó en (Li et al, 2014), pero resulta lento y tedioso de implementar. En esta propuesta se propone usar novedosos algoritmos de procesamiento de imágenes de tipo watershed (cuya descripción básica se encuentra aquí⁶) directamente sobre la información de profundidad proporcionada por sensores de visión para identificar regiones con diferentes alturas y/o curvaturas. A partir de estas regiones, que terminan en la frontera de los trajes, se analizan las características mencionadas (color, contorno, textura). Se estima de manera empírica (habrá que demostrarlo) que las roturas del traje (cortes, enganches, agujeros) tienen unas características diferentes a las arrugas/pliegues en las regiones detectadas, por lo que la identificación de estas últimas llevará muy probablemente a la detección de las roturas. La ventaja de este tipo de algoritmos es que son rápidos y solamente se basan en información geométrica, por lo que pueden adaptarse sin ninguna dificultad a diferentes tipos de trajes, tallas y colores. Además, pueden detectar cualquier número de pliegues, inclusive los superpuestos. La figura 2b muestra el banco de pruebas que se ha desarrollado en el laboratorio de la UC3M con ropa extendida en una mesa plana, que en el futuro será sustituida por un maniquí 3D con un traje EPI de protección. La figura 2c presenta los resultados de los primeros experimentos llevados a cabo en esta instalación donde se detectan diferentes pliegues y arrugas. En la parte izquierda se ven las imágenes en escala de grises de diferentes pliegues y en la parte derecha los resultados al aplicar el algoritmo watershed básico, etiquetando las imágenes de las diferentes regiones por color.

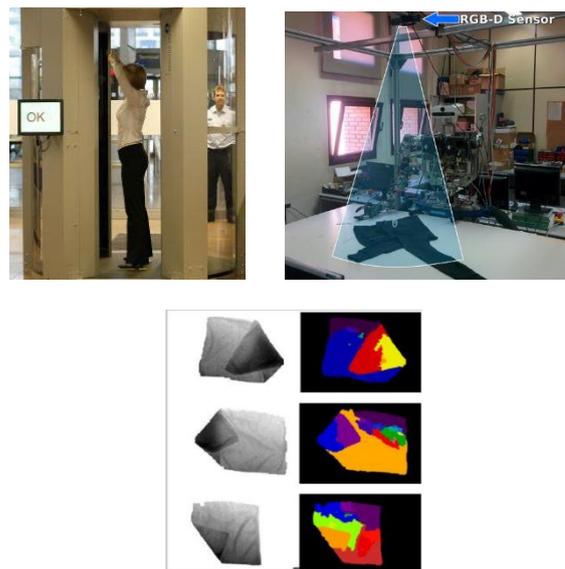


Figura 2: Inspección automática de trajes (figuras de izquierda a derecha y de arriba a abajo): a) escáner aeroportuario de inspección, b) instalación de laboratorio con mesa plana de análisis de ropa, c) primeros resultados del algoritmo watershed de detección de pliegues.

2.2 Inspección robotizada de trajes con herramientas especializadas

Es muy probable que los resultados de la primera inspección en escáner no garanticen una integridad 100% del traje EPI, sobre todo en materia de manchas de fluidos (sangre, orina, heces, saliva, etc.) tanto visibles como no visibles. Por ello, se plantea la necesidad de realizar una inspección robotizada más minuciosa y en zonas específicas de difícil acceso. Se propone la utilización de un robot manipulador portador de sensores capaces de detectar este tipo de fluidos. En la primera fase del proyecto se utilizará el robot Mitsubishi PA-10, aportado por el equipo investigador, y en la segunda se unirá al PA-10 el robot de Exact Dynamics AMOR, también aportado por el equipo, formando de esta manera un sistema multirobot para abarcar la inspección completa del traje EPI. Finalmente se intentará usar el humanoide TEO de la UC3M con capacidad de movimiento alrededor del paciente.

El robot deberá realizar trayectorias protegidas alrededor del traje manteniéndose a una distancia determinada y garantizando la no-colisión. Haciendo un símil con la seguridad aeroportuaria, se realizará una inspección siguiendo las pautas de la figura 3, pero robotizada. Por tanto, este segundo objetivo constará de dos sub-objetivos: a) estudio y selección de los sensores de inspección que serán portados por el robot, y b) cálculo de las trayectorias protegidas.

Dado que el objetivo fundamentalmente será realizar una inspección de la presencia de fluidos en los trajes, se ha efectuado un estudio preliminar del estado de las tecnologías, siendo la conclusión que los sensores forenses son los más adecuados (Carapezza, 2002), (Sikirzhyski et al., 2010). Las principales características que este tipo de sensores deben

⁵ <http://www.clopema.eu> (retrieved on 21-sept-2015)

⁶ http://scikit-image.org/docs/dev/auto_examples/plot_watershed.html (retrieved on 21-sept-2015)

cumplir para poder ser integrados en el sistema robótico son: a) autonomía, tanto en la fuente de alimentación como en los sistemas de control (sin cables), es decir, alimentados con baterías y con almacenamiento local de datos y transmisión al exterior, i.e. dispositivo portátil, b) poco peso para poder ser manejado por el robot sin dificultades, y c) poder ser fácilmente adaptable para un amplio espectro de fluidos y tipos de análisis, lo que llevaría a que el robot contará con un sistema de pinza/agarre intercambiable.

Los sensores más adecuados parecen ser los de tecnología de iluminación LED de alta intensidad. Estos sensores (figura 3b) proporcionan información en un amplio espectro, que va desde los UV a los IR: a) luz blanca para salpicaduras de sangre, hematomas y mordeduras, b) luz UV para fluidos corporales y residuos de medicamentos, c) luz violeta para salpicaduras de sangre y cabello, d) luz naranja y roja para búsqueda de contraste general, e) luz IR para salpicaduras de sangre y fibras, etc.⁷. El intercambio de una luz a otra se podría realizar mediante un intercambio automático de la herramienta del robot. Estos sensores son portables y podrían tener la capacidad de almacenar y comunicar inalámbricamente los datos a un computador externo, con lo que serían de gran utilidad en la inspección robotizada on-line.

El segundo sub-objetivo de esta parte de la propuesta es la generación automática de trayectorias libres de colisión del robot alrededor del traje, manteniendo el sensor a una distancia cuasi-constante del mismo. Para ello, necesitamos, en primer lugar, un sistema reactivo de guiado del robot para identificar la superficie del traje. Se utilizarán técnicas desarrolladas por la UC3M para el seguimiento mediante láser de paredes de túneles (Montero et al., 2010) a una distancia determinada (5-10 cm), de movimiento restringido. Este método ha dado buenos resultados y se espera que se pueda utilizar sin grandes variaciones en este trabajo, adaptando la reflectancia del láser al material de los trajes EPI.

En segundo lugar, utilizaremos un sistema de planificación de trayectoria 3D. Se propone utilizar los algoritmos de tipo fast-marching (FM) que han dado muy buenos resultados en otras aplicaciones. La idea de este método se basa en la expansión de una onda con un movimiento de avance a una cierta velocidad. Suponiendo un mapa del entorno, el FM calcula el momento en que el frente de onda alcanza cada punto del espacio, detectando de esta manera la colisión. El método FM2 (Garrido et al., 2009) consistente en aplicar dos veces el FM, lo que mejora los resultados de este último garantizando, entre otros, el mantenimiento de una distancia de seguridad y una transición más suave en las trayectorias. La figura 3c presenta los primeros resultados de la aplicación de FM2 modificado en un entorno 3D complejo, con una trayectoria resultante con muy buenas características.



Figura 3. Inspección robotizada de trajes (figuras de derecha a izquierda): a) procedimiento de inspección aeroportuaria manual, b) operador con el equipo de inspección de UV, y c) cálculo de trayectorias libres de colisión utilizando el algoritmo Fast-Marching 2 modificado en un entorno 3D.

2.3 Creación de una base de datos dinámica

El tercer objetivo, y no por ello menos importante, será el desarrollo de una base de datos etiquetada de defectos de los trajes EPI que se alimentará tanto con el conocimiento previo (aprendizaje) como con las experiencias adquiridas durante la inspección (refuerzo). Pero también podrán ser almacenados los conocimientos adquiridos del movimiento del robot para ser reutilizados en entornos diferentes y en otras futuras aplicaciones. La base de datos se publicará en OpenAccess para los investigadores en este campo y pretende contribuir al desarrollo de benchmarks para robótica contra el Ébola y otras enfermedades altamente contagiosas. Como se ha señalado, el objetivo también sería contar con la información suficiente para los futuros proyectos en esta temática.

En el caso del almacenamiento de los defectos de los trajes se utilizará una base de datos convencional de defectos de ropa no-textil (por ejemplo, (Chen et al., 2012)) organizada de la siguiente manera: a) por un lado defectos introducidos por los expertos como experiencia previa y defectos encontrados y confirmados durante el proceso de inspección robótica; b) por otro lado, los defectos deben ser clasificados como rotura, pliegue, mancha visible (sangre, heces, etc.), mancha no visible o transparente (saliva, agua, etc.); c) roturas del trajes con su tipología y característica (corte, enganchón, etc.), y d) finalmente se almacenarán las zonas de los trajes donde han sido encontrados los defectos. En un futuro, y como continuación de este proyecto, esta base de datos podría ser homologada según los estándares del ISO 9001.

En el caso de las trayectorias de robots, podrán ser almacenadas de tres diferentes formas: a) por generación directa desde simuladores robóticos (OpenRAVE y Gazebo), b) por grabación y extracción de la información durante el movimiento del robot, y c) por aprendizaje por demostración del personal sanitario. Todas ellas estarán etiquetadas, incluido el entorno (geometría de la esclusa, el traje, posición del robot). En el primer caso, la base de datos se alimentará directamente desde la salida del simulador. En el segundo caso, la información de las cámaras 3D en la esclusa nos podrá dar la información sobre el movimiento temporal-espacial de algunas marcas del robot (respecto al traje) con lo que podremos reconstruir la trayectoria real 3D del robot. En el tercer caso, utilizaremos métodos de Programming by Demonstration (PbD) que los inspectores-

⁷ <http://www.fosterfreeman.com/forensic-light-sources/360-crime-liter-82w-2.html> (retrieved on 21-sept-2015)

observadores expertos realizarían con los sensores de inspección, con lo que almacenaríamos no solamente la trayectoria sino también la experiencia del personal.

Respecto al PbD, hay muchos trabajos publicados (por ejemplo, el de Calinon (Calinon et al., 2007)), cuyas experiencias pretendemos introducir en el sistema. De hecho se propone utilizar una arquitectura similar a la de Calinon pero con algunas adaptaciones y mejoras que hemos implementado en los últimos años. Se pretende utilizar el método de Continuous Goal-Directed Actions (CGDA) (Morante et al., 2014) que codifica los efectos de las acciones durante la demostración del robot. Este método tiene varias ventajas, como estar orientado al objeto (en nuestro caso el traje) más que a la trayectoria en sí y poder seguir objetos con características tales como color, volumen, área, etc. (muy útil para el traje). La arquitectura del CGDA estará formada por 3 partes fundamentales: a) Generalización (extracción de las características de las trayectorias generalizadas), b) Identificación (identificación de la trayectoria concreta), y c) Ejecución (simulación y ejecución de la trayectoria para su verificación).

Todo ello permitirá disponer de un sistema completo de control e inspección del personal sanitario que trata a los enfermos infecciosos de larga duración, incluidos los de Ébola. La figura 4 recrea un robot de inspección, similar al que se pretende utilizar (humanoide TEO), en la antesala (esclusa) de la habitación de un enfermo. Este concepto integral, apoyado siempre en los procedimientos de la OMS y la experiencia de los médicos y enfermeras, llevará a una disminución de los riesgos y a una mejor asistencia de los enfermos.

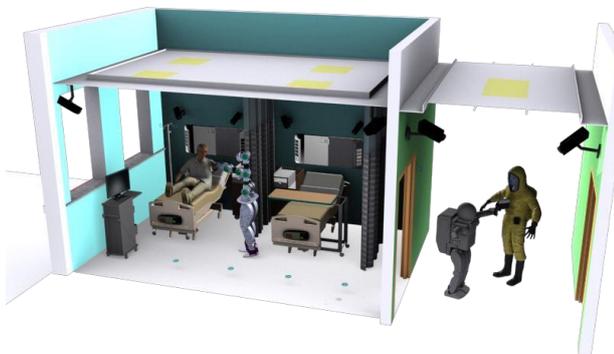


Figura 4. Vista completa del entorno de inspección robotizado del personal sanitario con traje EPI que trata a los enfermos en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola.

3. Conclusión

El proyecto es de gran novedad a nivel mundial, de hecho en el último informe de la Casa Blanca sobre el Ébola y la Robótica⁸ se destaca la no existencia de este tipo de sistemas y la prioridad que los gobiernos deben dar a su investigación y desarrollo. Por tanto, el impacto de este proyecto puede ser muy grande, máxime cuando se plantea como un sistema modular y transportable a diferentes hospitales y escenarios como campos de enfermos en África. Pero también hay que destacar que,

debido a su novedad, existe un riesgo de fracaso o cumplimiento parcial de los objetivos. No obstante, pensamos que la experiencia del equipo interdisciplinar del proyecto podría avalar un éxito total o parcial.

En el caso de que se obtuviera un resultado positivo se conseguirían una serie de ventajas y beneficios sanitario-sociales tales como: a) considerable aumento de la seguridad de los trabajadores y de las instalaciones, b) reducción exponencial del estrés y el absentismo laboral al disminuir el peligro de contagio que conlleva este tipo de trabajo, lo que hace que el trabajador pueda desempeñar sus funciones con una mayor tranquilidad, c) extensión de la tecnología a otras áreas críticas del hospital (como quirófanos, UCIs, etc.), d) ayuda a la detección y al diagnóstico de los diferentes tipos de germen y/o contaminante, y e) poder abrir nuevas líneas de investigación y nuevas hipótesis clínicas.

Desde el punto de vista científico, el éxito del proyecto garantizaría la solución de varios paradigmas robóticos: a) inspección robotizada de trajes y cuerpos en entornos 3D, con un indudable impacto en las técnicas de seguimiento restringido 3D y unas posibles aplicaciones a otros sectores como la industria de la confección, b) integración multisensorial con sistemas de visión 3D, láseres de seguimiento y sensores de inspección tipo LED o similares, con aplicaciones en la industria del automóvil, y c) generación de una base de datos de defectos en trajes EPI para poder ser utilizada de forma abierta por los investigadores y servir de benchmark internacional.

English Summary

HORUS: Robotic inspection of the health personnel's protective suits for the treatment of patients in extreme isolation including Ebola.

Abstract

Highly contagious diseases are treated by very strict procedures of WHO. In the case of Ebola, which has a fatality rate that can reach 90%, both patients and medical staff should follow a much more strict protocol which in good defined but has although areas of significant improvement with regard to safety. One of the most delicate tasks is the removal of the Personal Protective Equipment (PPE) in the changing room after visiting the patient. It may happen that the suit is broken and/or contaminated with traces of blood, vomit, urine and, in general, various fluids.

Precisely for this reason the objective of the project is to develop robotic technologies to ensure the integrity of the protective clothing of health workers treating Ebola, focusing on three main points: 1) sensing the changing room with vision cameras for automatic inspection of suits, 2) more detailed robot inspection for sensing of fluids and 3) creating a dynamic

⁸ <https://www.whitehouse.gov/blog/2014/11/17/exploring-opportunities-robotics-aid-disease-outbreaks> (retrieved on 21-sept-2015).

database of defects' types and fluids appearing in protective suits. All this under two premises: low cost for multiple hospitals and modular in order to be transported to Ebola isolation units.

Keywords:

Robots, Robotics, Robot vision, Computer vision, Medical Systems

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del Proyecto HORUS (DPI2015-72015-EXP), financiado por el Ministerio de Economía, Industria e Competitividad y a una beca para la Formación del Personal Universitario (FPU) financiada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Agradecemos también a NVIDIA Corporation la donación de una GPU NVIDIA Titan X, usada para los experimentos.

Referencias

- Appleby, R., 2004. Passive millimetre-wave imaging and how it differs from terahertz imaging. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 362(1815), pp.379-393.
- Calinon, S., Guenter, F. and Billard, A., 2007. On learning, representing, and generalizing a task in a humanoid robot. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 37(2), pp.286-298.
- Carapezza, E.M., 2002. Sensors, and command, control, communications, and intelligence (C3I) technologies for homeland defense and law enforcement(Orlando FL, 1-5 April 2002). In *SPIE proceedings series*. SPIE.
- Chen, L., Wang, J., Li, L., Chen, X., 2012. Nonwoven Fabric Defects Detection Based on 2D Gabor Filter, *Journal of Donghua University (Natural Science)*, vol. 06.
- Garrido, S., Moreno, L., Abderrahim, M. and Blanco, D., 2009. FM2: A REAL-TIME SENSOR-BASED FEEDBACK CONTROLLER FOR MOBILE ROBOTS. *International Journal of Robotics & Automation*, 24(1), p.48.
- Li, Y., Chen, C.F. and Allen, P.K., 2014, May. Recognition of deformable object category and pose. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, (pp. 5558-5564). IEEE.
- Montero, R., Victores, J.G., Martínez, S., Jardón, A. and Balaguer, C., 2015. Past, present and future of robotic tunnel inspection. *Automation in Construction*, 59, pp.99-112.
- Mora-Rillo, M., Arsuaga, M., Ramírez-Olivencia, G., de la Calle, F., Borobia, A.M., Sánchez-Seco, P., Lago, M., Figueira, J.C., Fernández-Puntero, B., Viejo, A. and Negro, A., 2015. Acute respiratory distress syndrome after convalescent plasma use: treatment of a patient with Ebola virus disease contracted in Madrid, Spain. *The Lancet Respiratory Medicine*, 3(7), pp.554-562.
- Morante, S., Victores, J.G., Jardón, A. and Balaguer, C., 2014, September. Action effect generalization, recognition and execution through continuous goal-directed actions. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, (pp. 1822-1827). IEEE.
- Sikirzhyski, V., Virkler, K. and Lednev, I.K., 2010. Discriminant analysis of Raman spectra for body fluid identification for forensic purposes. *Sensors*, 10(4), pp.2869-2884.
- Stria, J., Průša, D. and Hlaváč, V., 2014a, September. Polygonal models for clothing. In *Towards Autonomous Robotic Systems Conference* (pp. 173-184). Springer International Publishing.
- Stria, J., Průša, D., Hlaváč, V., Wagner, L., Petrik, V., Krsek, P. and Smutný, V., 2014b, September. Garment perception and its folding using a dual-arm robot. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*, (pp. 61-67). IEEE.
- U.S. Department of Homeland Security, 2008. Procurement specification for whole body imager devices for checkpoint operations, U.S. Department of Homeland Security". U.S. Department of Homeland Security (retrieved on 21-sept-2015).
- Willimon, B., Birchfield, S. and Walker, I.D., 2011, September. Model for unfolding laundry using interactive perception. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011)* (pp. 4871-4876). IEEE.